



prof. Ing. Milan PAVELEK, CSc.
Odbor termomechaniky a techniky prostředí
Energetický ústav, Fakulta strojního inženýrství
Vysoké učení technické v Brně
Technická 2896/2, 616 69 Brno

OPONENTSKÝ POSUDEK DOKTORSKÉ DIZERTAČNÍ PRÁCE

Název práce: Experimentální ověření stability kapalinových soustav
Autorka: Ing. Hana Petrůjová
Pracoviště: Ústav technických zařízení budov, FAST VUT v Brně

Dizertační práce Ing. Hany Petrůjové je zaměřena na experimentální ověřování a výzkum stability teplovodních otopných soustav využívajících hydraulický vyrovnávač dynamických tlaků označovaný zkratkou HVDT. Řešený problém je zajímavý a aktuální, jelikož tento prvek se často používá ke zlepšení hydraulických poměrů v otopných soustavách. Při práci v nevhodných režimech a zejména pak v novějších sestavách využívajících kondenzační kotle může však tento hydraulický prvek způsobovat i snižování účinnosti výroby tepla.

Dizertační práce je rozsáhlá, má 143 stran. Obsahuje kromě úvodních stránek a obsahu celkem 8 kapitol. K práci jsou rovněž přiloženy teze v rozsahu 34 stran a elektronická verze práce na DVD médiu. Text je logicky uspořádaný, má vyhovující grafickou úroveň i stylistickou úpravu. V první kapitole je stručný úvod do problematiky, druhá kapitola obsahuje literární rešerši a obsáhle popisuje jednotlivé části zařízení pro teplovodní vytápění. Třetí kapitola definuje cíle dizertační práce, ve čtvrté kapitole jsou popsány metody řešení daného experimentálního výzkumu a pátá kapitola obsahuje naměřené hodnoty a dílčí výsledky osmi rozsáhlých experimentů prováděných na několika konkrétních vytápěcích zařízeních přímo v praxi. V šesté kapitole je uvedeno souhrnné zpracování výsledků měření, sedmá kapitola obsahuje závěr a v osmé kapitole je seznam použité literatury včetně publikací autorky.

Vlastní řešení dizertační práce nejdříve uvádí jednoduché kalorimetrické rovnice, které definují poměr P objemového průtoku primárním a sekundárním okruhem v závislosti na vstupních a výstupních teplotách HVDT. Tyto teploty bývají často měřeny a používány pro regulaci daných vytápěcích soustav. Následně dizertační práce uvádí vlastní rozsáhlá měření přenosným měřicím systémem na různých otopných soustavách v praxi. Kromě čtyř teplot měřených kontaktními sondami na vstupech a výstupech HVDT jsou ultrazvukovým průtokoměrem měřeny i průtoky v primárním a sekundárním okruhu a současně jsou pořizovány termovizní záznamy. Ukázalo se, že využití termovize pro řešení uvedených problémů je velice prospěšné, progresivní a názorné. Pozorování termogramů umožní totiž i v provozních podmínkách okamžitě identifikovat tepelné děje ve sledované soustavě a zkoumat tak odezvy systému na automatickou regulaci nebo na zásahy obsluhy. Data naměřená v dizertační práci jsou rozsáhlá, zahrnují různorodé otopné soustavy a jejich náročná analýza je velice detailní.

Z výsledku zpracovaných měření byly přes různorodost proměřovaných otopných systémů definovány užitečné závěry. Ukázalo se, že jednoduché kalorimetrické rovnice mohou přijatelně popisovat činnost HVDT pouze v úzkém rozmezí poměru $P = 0,9$ až $1,3$, kde nedochází k výraznému míšení proudů. V tomto rozmezí byly také všechny proměřované systémy stabilní. Prakticky lze pak poznatky dizertační práce využít např. pro řešení měřicích a regulačních systémů s kondenzačními kotli, které by měly využívat kromě měření teplot i měření průtoků, což zajistí vysokou účinnost výroby tepla.

Připomínky k dizertační práci:

- V práci není seznam označení, a proto mnohdy nejsou zřejmá označení v obrázcích a jinde. Navíc pro stěžejní veličiny se v práci používá různé označení (např. objemový průtok je označován V , q , Q , teploty na vstupech a výstupech HVDT mají různé indexy v úvodu práce

a při popisování vlastních experimentů); některé veličiny mají v práci různé jednotky, viz např. rovnice (1) až (3); rovnice (7) nevyplývá z rovnice (6); rovnice (9) a (11) jsou chybné.

- Poměrně netradičně je zpracována kapitola 2.1, kde názvy podkapitol korespondují převážně s názvy diskutovaných článků a text je méně srozumitelný. Např. v podkapitole 2.1.4 není zřejmé, co značí zkratka Rys., uvedené obrázky nemají názvy a nejsou ani číslovány a 1. věta podkapitoly nemá sloveso. Pozn.: Věty bez sloves se vyskytují i jinde v textu.
- Pro snazší orientaci v práci by bylo vhodné uvést seznam experimentů z kapitoly 4.2.3 před obecné popisy grafů v kap. 4.2.1. Tento seznam by však měl být podrobnější, aby byly zřejmé rozdíly mezi experimenty.
- Místo „chyb měření“ se v experimentální práci mají vyjadřovat „nejistoty měření“. Tyto by pak měly být rozepsány podrobněji, např. nejistoty měření teplot, průtoků, parametru P apod. Systematické chyby je třeba eliminovat a měření zatížená hrubými chybami vypustit.
- V textu nejsou často odvolávky na obrázky a grafy, přičemž číslování grafů je složité. Text na str. 24 se odvolává chybně na obr. 1; text na str. 81 se odvolává na neexistující obr. 3.1a; mnohé obrázky jsou kresleny příliš slabými čarami. Obecný popis grafů na str. 55 až 58 neodpovídá grafům z měření E5 až E8; v textu na str. 70 se uvádí, že „Průtok primárním okruhem převyšoval průtok sekundárním okruhem až trojnásobně“, což není z grafu E2.1 zřejmé. Často jsou informace v grafech přeuročeny, viz např. poměr P v grafech E1.3a, E2.3a, E3.3, E3.4, E4.3 a dalších.
- V práci jsou drobné gramatické chyby a nevhodná či nepřesná vyjádření. Není vhodné používat výraz „experimentální měření“; rozdíly teplot se vyjadřují v kelvinech; na str. 58 je nepřesně uvedeno, že „Teploty vody v potrubí byly skutečně řádově vyšší“ aj.
- Seznam literatury není uspořádaný ani dle abecedy, ani dle výskytu v textu a některé citace (např. odkazy na internetové zdroje) jsou příliš stručné.
- Obdobné připomínky platí i pro texty, rovnice, obrázky a grafy převzaté do tezí dizertační práce.

Dotazy k dizertační práci:

- Proč je v práci často kladen důraz na proložení naměřených hodnot přímkami, když závislosti jsou většinou složitější a některé naznačují snad i vznik hystereze. Proč je v kapitole 4.2.1 definován Pearsonův korelační koeficient, který není dále v textu využíván.
- Proč nejsou v práci zobrazeny průběhy naměřených dat v závislosti na čase (např. u prvních grafů v každém experimentu), což by přineslo další podrobnější informace o dynamickém chování soustavy či její časové stabilitě.

Dizertační práce splnila vytyčené cíle, jelikož obsahuje ucelené informace o vlastních rozsáhlých měřeních stability různých teplovodních otopných soustav využívajících hydraulický vyrovnávač dynamických tlaků a provedla rozsáhlou, náročnou a detailní analýzu naměřených dat. Výsledky práce budou přínosem pro praktické využití v oblasti vytápění i pro rozvoj oboru technická zařízení budov.

Z výše uvedených důvodů **doporučuji dizertační práci Ing. Hany Petrůjové k obhajobě před komisí pro obhajoby dizertačních prací.**

V Brně dne 30. 10. 2015



prof. Ing. Milan Pavelek, CSc.
oponent doktorské dizertační práce